

# Automatización y Gestión de la Energía Eléctrica del Sistema de Iluminación de un Edificio Dedicado a Tareas de Oficina

**Resumen:** La crisis económica y financiera mundial y la escasez de recursos energéticos promueven la creación de nuevas políticas que ayuden a reducir y a hacer un uso eficiente de la energía. Los edificios de oficinas de los países desarrollados han sido alcanzados por estas políticas por su alto consumo que representa el 40% del total. Dotar a un Edificio de inteligencia implementando un Sistema de Gestión con estrategias de eficiencia energética es fundamental para reducir el consumo. Este trabajo presenta el análisis, diseño y desarrollo de un Sistema de Gestión de iluminación de un Edificio de Oficinas con el objetivo de reducir su consumo energético.

**Palabras Claves:** SGE; Eficiencia Energética; KNX; Automatización.

**Abstract:** Global economic, financial crisis and energetic resources scarcity promotes the creation of new policies that help to reduce and to optimize energy employment. Developed countries' offices buildings have been reached by these policies because of the high the energy consumption, using 40% of the total consumption. Provide intelligence to a building through a management system implementing energy efficiency strategies is essential to reduce energy consumption. This paper presents the analysis, design and development of offices building illumination management system with the focus on to reduce its energetic consumption.

**Keywords:** BMS; Energy efficiency, KNX; Automation.

Andrés Vigil, Maximiliano Voelkly.

Grupo de Control y Seguridad Eléctrica (CyS) (Lavaise 610, Santa Fe), Facultad Regional Santa Fe, UTN

Mail: [avigil@frsf.utn.edu.ar](mailto:avigil@frsf.utn.edu.ar), [mvoelkly@frsf.utn.edu.ar](mailto:mvoelkly@frsf.utn.edu.ar)

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día la crisis económica y financiera mundial, así como también las grandes presiones ambientales (cambio climático, seguridad en el suministro de energía, etc), son los principales ejes de las políticas energéticas. La Argentina no está exenta de la escasez de recursos energéticos que se presenta a nivel mundial, y necesita por este motivo un cambio radical en el manejo de la energía. Según estudios realizados en Estados Unidos el consumo eléctrico en edificios en los países desarrollados representa el 40% de la demanda total de energía de los mismos, según Zidek et al. (2011). Además en Argentina aproximadamente el 60% de la generación de energía se obtiene mediante centrales térmicas siendo estas altamente contaminantes y poco eficientes. El sector de los edificios es uno de los actores que juega un papel importante en el desarrollo de estrategias ligadas a políticas de ahorro energético. Los sistemas de automatización de edificios, o también denominados Sistemas de Gestión de Edificios (SGE), comprenden desde los sensores y actuadores de campo hasta el software de gestión de las instalaciones del edificio. Definido en: Wang (2010). Y permiten conseguir ahorros de entre un 10% al 40% de energía a través del control y la supervisión del uso de la energía. En el presente proyecto se propone analizar, diseñar y construir un Sistema de Gestión de Iluminación para un Edificio dedicado a tareas de oficina y una herramienta de Software del Sistema de Gestión de la Energía (SSGen).

## METODOLOGÍA

### Descripción física del edificio

El edificio está ubicado en la zona Oeste de la ciudad de Santa Fe. Consta de planta baja y 3 pisos, siendo su fachada norte mayormente ciega contando con pequeñas ventanas traslúcidas, y las restantes doble-

mente vidriadas, con tratamiento polarizado.

La planta baja consta de:

Sector central destinado a los baños de damas (A1) y caballeros (A2), un hall (A5), ascensores y escalera (A6) (Figura 1).

Dos sectores simétricos orientados uno al este (A3) y otro al oeste (A4) (Figura 1).

En el piso 1 se repite la estructura de la planta baja, con la diferencia de que las áreas de oficinas A3 y A4 se dividen cada una en sector norte y sur; su denominación será A3N, A3S, A4N y A4S. (Figura 2)

El piso 2 tiene una distribución idéntica a la planta baja.

El piso 3 repite la distribución de áreas del piso 1 con la diferencia que el sector A3N del piso 3 está destinado al DATA CENTER, los sectores A3S, A4N, A4S dedicados a tareas de oficinas.

La iluminación en los sectores de oficinas está provista cada una con 16 paneles LED de 60cmx60cm de 46W de potencia, Los baños están equipados con luz individual del tipo led Downlight de 5W de potencia, una para cada cubículo y luz general del tipo LED tira SMD 5050 de 3 m de 42W de potencia para la zona de lavabos. El pasillo posee dos paneles LED de 60cmx60cm de 46W de potencia con balastos DALI.

El tipo de artefactos lumínicos y la distribución de la iluminación es la misma para todas plantas del edificio. Los valores de iluminación requeridos para cada sector, fueron estipulados basándose en la norma IRAM AADL J 20-06.

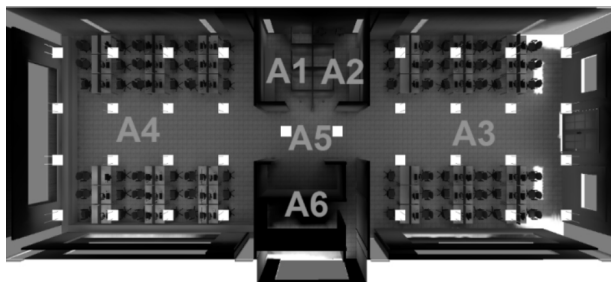


Fig. 1: División de los sectores de la Planta Baja.

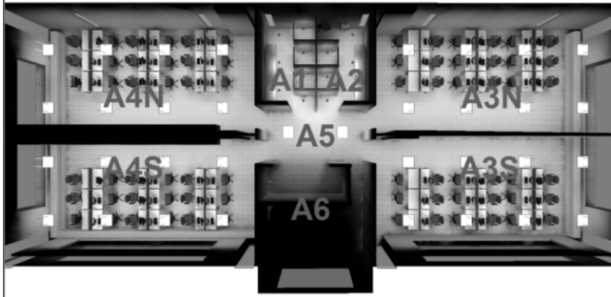


Fig. 2: División de los sectores en el 1er Piso

## Arquitectura del sistema

Se propone una arquitectura de 3 niveles que separa los dispositivos de campo (sensores, actuadores), la red de backbone y el BMS (Building Management System), que además cuenta con mecanismos de seguridad. El diseño de la arquitectura es tratado en detalle en Vigil (2015). El diagrama final de la arquitectura se presenta en la figura 3.

## Estrategias de control

El diseño de las estrategias de control de la iluminación está ligado a las siguientes premisas según Wang (2010):

- Brindar iluminación donde es necesario.
- Brindar iluminación cuando es necesario.

Brindar la cantidad correcta de luz.

Aprovechar la luz del día tanto como sea posible.

## Aprovechamiento de la luz natural

El aprovechamiento de la luz natural en los espacios se puede conocer mediante una herramienta de simulación denominada RELUX PRO. La herramienta se utiliza para diseñar la iluminación de ambientes y brinda la posibilidad de simular la incidencia de la luz natural como complemento de la iluminación artificial, considerando la arquitectura, la orientación y ubicación geográfica y las diferentes épocas del año. RELUX PRO es un software gratuito y es ampliamente utilizado en Arquitectura, Diseño y Urbanismo. El objetivo es conocer la distribución espacial y temporal de la luz natural, así como también la intensidad lumínica en cada caso. Se tomó como condiciones de simulación: Todos los días cada una hora durante una semana representativa de cada estación del año con cielo claro y sin iluminación artificial. El conocimiento de la distribución espacial permite definir los grupos de luminarias sobre los que se realiza el control, de manera de disminuir la utilización de la iluminación artificial. Como ejemplo en las figuras 4 se presenta la máxima incidencia de iluminación natural en los sectores A3.

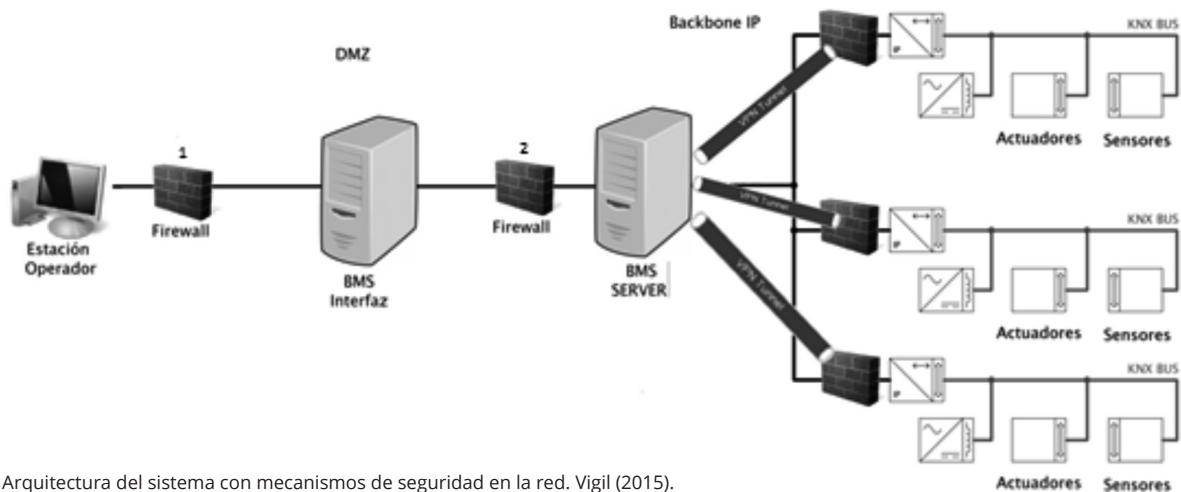


Fig. 3: Arquitectura del sistema con mecanismos de seguridad en la red. Vigil (2015).

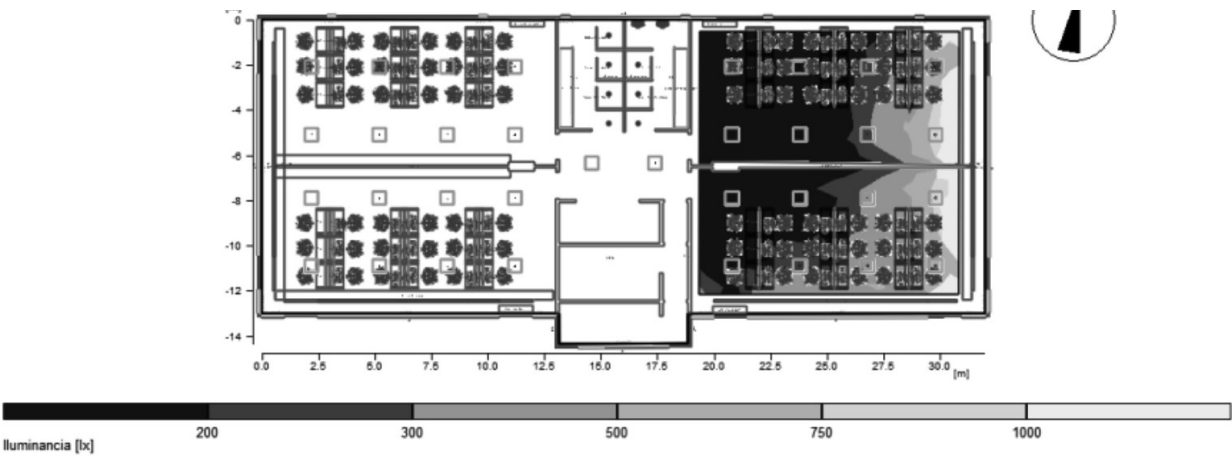


Fig. 4: Incidencia de la iluminación natural para el área A3 en verano a las 10:00 hs.

En la figura 5 se muestran los grupos de luminarias seleccionadas para implementar las estrategias de control en base a las simulaciones.

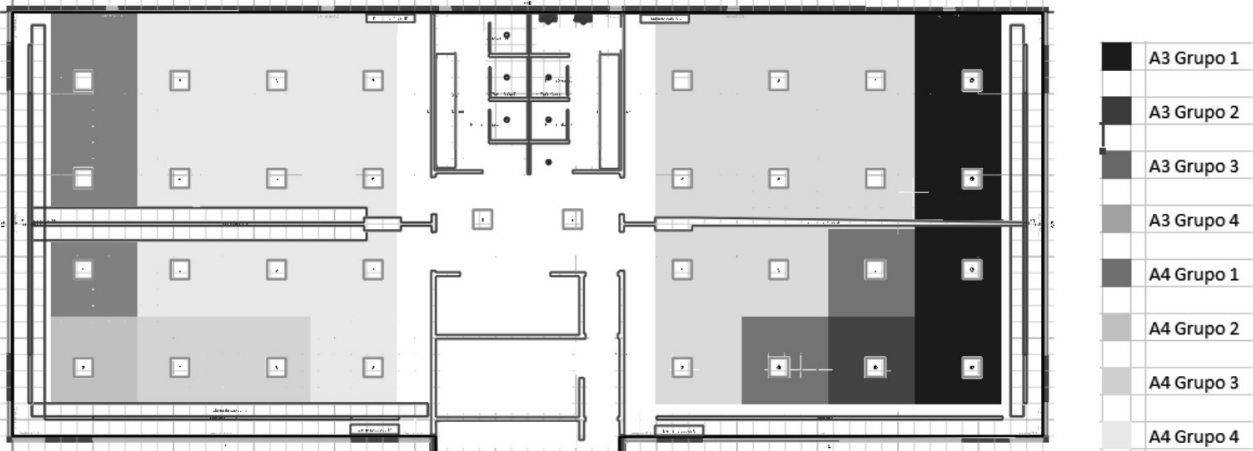


Fig. 5: Grupos de luminarias seleccionadas para realizar el control en función de la incidencia de la luz natural.

**Ocupación de los sectores**

La ocupación de los sectores se puede calcular en base a observación o mediante la construcción de un modelo matemático que lo represente. La herramienta de simulación GPSS permite realizar la simulación de sistemas físicos o virtuales, y brinda como resultado: porcentaje de ocupación, tiempo de espera en cola, etc. Conocer los porcentajes de ocupación de los sectores

es necesario para realizar los cálculos de ahorro de energía con el sistema de automatización. A modo de ejemplo se describirá el modelo utilizado para el cálculo de ocupación de los baños de caballeros.

Los Baños se pueden modelar como un sistema de colas especializada de poisson (figura 6).

Las personas arriban a una tasa  $\lambda$  al servidor Baño y tardan un tiempo promedio  $\mu$  en utilizar el servicio e irse del sistema.

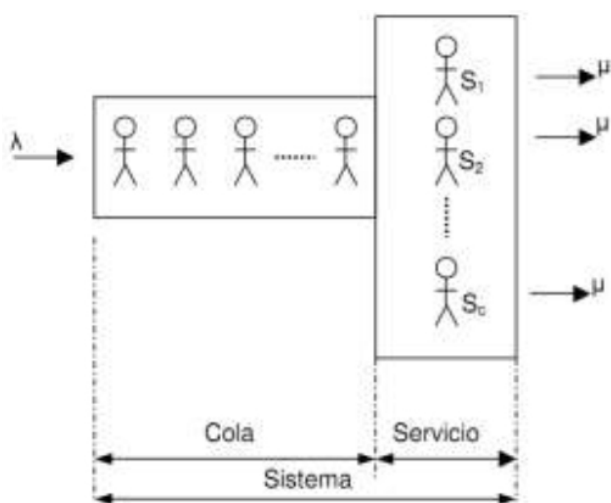


Fig. 6: Sistema de colas especializado de Poisson.

Baño de hombres:  
Población: 36 hombres (se estima el 50% del total de puestos de trabajos de un piso)  
Tiempo de análisis: 12hs (jornada laboral de 7 a 19hs)  
Cantidad de arribos al baño promedio por persona: 2,5 veces en la jornada laboral. (una vez cada 3 o 4 horas según la Dra. Gloria Katz

del Holy Family Memorial (2015)  
Cantidad de arribos estimada en una jornada laboral: 90  
Velocidad de arribos ( $\lambda$ ): 0.125 [arribos/minuto]  
Tiempo promedio de servicio ( $\mu$ ): 5 minutos.  
Los resultados de la simulación GPSS se presentan en la figura 7.

La ocupación es el porcentaje de la proporción entre el tiempo ocupado sobre el tiempo total. Según los resultados, la ocupación es de 49,8% sin discriminar la zona de lavabos y de cubículos. La interpretación del resultado dice que es posible ahorrar hasta un 50,2% de la energía utilizada por la iluminación en los baños de hombres con un sistema de encendido con control de presencia.

Dispositivos de automatización

Los dispositivos de automatización seleccionados se presentan en la Tabla 1.

```

GPSS World Simulation Report - simulacion.31.1

Sunday, September 18, 2016 11:22:30

START TIME          END TIME  BLOCKS  FACILITIES  STORAGES
0.000              43201.000    12        0          1

STORAGE            CAP.  REM.  MIN.  MAX.  ENTRIES  AVL.  AVE.C.  UTIL.  RETRY  DELAY
BANO                5    2    0    5    85    1    0.684  0.137    0    0

SAVEVALUE          RETRY          VALUE
TIEMPOTOTAL        0          43200.000
TIEMPOOCUPADO      0          21525.000

```

Fig. 7: Resultados de la simulación para el baño de hombres.

Componente	Modelo de referencia	Cantidad			
		PB	Piso 1	Piso 2	Piso 3
Entrada Binaria	Jung 2076-4t	4	4	4	4
Actuador Binario	Jung 2308,16 REGCHM	4	4	4	4
Sensor de Presencia infrarrojo	Jung 3361	1	1	1	1
Sensor de Luminosidad	Jung 2096	4	4	4	3
Sensor de Presencia de Alta Frecuencia	Steinel HF 360 KNX	2	2	2	2
Interfaz KNX/IP	Jung IPS 200 REG	1	1	1	1
Interfaz DALI/KNX	Jung 2098REGHE	0	1	0	0
Fuente de Alimentación	Jung 640 MA	1	1	1	1
Balasto DALI	Driver DALI	2	2	2	2
Actuador de Regulación	HDL M/S04.1	1	1	1	1
Balasto Regulable	Regulador 0 - 10V	2	2	2	2
Sensor de Presencia PIR Genérico	X28 MD85PR	9	9	9	9

Tabla 1: Resumen de dispositivos.

### Estrategias

#### i. Zona de Oficinas:

Las Oficinas poseen dos tipos de control:

- Horario: Que consiste en el encendido y apagado automático de las luces al comienzo y final de la jornada laboral [7-19hs].

- On/Off de grupos: Encendido y apagado automático de los grupos de luces (Figura 5) cuando la incidencia de luz natural es suficiente. El sensor de luminosidad de la oficina envía una orden de encendido/apagado al actuador binario de un determinado grupo cuando la iluminación exceda/disminuya los 400lux.

#### ii. Zona de tráfico compartido I (baños)

Los baños están divididos en dos áreas, lavabos y cubículos. Se utilizan las siguientes estrategias de control:

- Control de encendido por presencia: La iluminación de los lavabos se enciende/apaga mediante un detector de presencia de HF capaz de detectar movimiento a través de las paredes de los cubículos. Además cada

cubículo posee un detector de movimiento genérico individual, que permite el encendido/apagado de la luz individual de cada uno de ellos.

- Regulación de luz: Se regula de modo automático la iluminación de lavabos para brindar siempre 100 lux, considerando el aporte de luz natural. La regulación se realiza mediante un detector de luminosidad, un actuador de regulación de luminosidad y un regulador de voltaje 0-10V.

#### iii. Zona de tráfico compartido II (Pasillos/Hall)

El pasillo es la zona de tráfico compartido más frecuentada y durante la jornada laboral no será apagada, a modo de ahorro se disminuirá la iluminación (20%) cuando no se detecte presencia en el sector. Se realiza mediante un sensor de movimiento IR, sensor de luminosidad y una interfaz DALI. La incidencia de la luz natural en este sector es casi nula.

#### iv. Centro de Datos

Por razones de seguridad el centro de datos no tiene ventanas al exterior, por lo que solo posee iluminación

artificial. El control de encendido se basa en la detección de presencia.

Un análisis completo de las estrategias a utilizar es estudiado en Vigil y Gaspoz (2014).

### **Sistemas de gestión del edificio**

El sistema de gestión del edificio se realiza mediante la aplicación de un software BMS. Las funciones mínimas de un BMS son:

- Obtención de datos en tiempo real.
- Capacidad de ejecutar programas que puedan supervisar y modificar el control establecido y bajo ciertas circunstancias anular o modificar tareas asociadas a los autómatas.
- Recopilación y almacenamiento de datos para su posterior evaluación.
- Visualización de los diferentes estados de la planta.
- Restricción de acceso a zonas del programa comprometidas a usuarios no autorizados.

Se clasifica al desarrollo de la aplicación en dos partes:

- Programación del firmware de los dispositivos de automatización.
- Programación del software de gestión, monitoreo y control más conocido como BMS.

### **Programación de los dispositivos de automatización**

Los dispositivos de automatización de KNX requieren ser configurados y parametrizados vía un software propietario de la KNX Org. Llamado ETS. Se puede obtener una versión gratuita de funcionamiento reducido desde la Web oficial de KNX. Cada dispositivo aprobado por la KNX Org. Posee una base de datos que debe ser cargada en el software ETS para poder programarlo.

### **BMS**

Se propone una solución híbrida que consta de dos partes:

1. El software de visualización/control del BMS realizado con la herramienta para desarrollo de BMS llamado NETx.
2. El software de gestión de usuarios, creación de informes, estadísticas, manejos de históricos, y soporte de mantenimiento construido en lenguaje de programación PHP5 sobre servidor Apache o IIS y con una base de datos relacional MySQL.

La solución híbrida aprovecha la fortaleza de ambas partes de los sistemas. Los sistemas orientados al control tanto hogareño como comercial brindan una excelente solución pre adaptada a los requerimientos de automatización facilitando desde las conexiones a las redes domóticas estándar hasta el manejo de objetos de automatización, pero no son eficientes cuando se trata del manejo de la información. Y es allí donde los sistemas de software de alto nivel tienen su fuerte.

### **Diseño de interfaces**

El éxito de una aplicación de visualización (la interfaz) y por consiguiente su efectividad y rendimiento, radica en la aceptación de esta por parte del usuario. Esto significa que la aplicación de visualización debe aproximarse a lo que el usuario está acostumbrado, afirma Rodríguez Penin (2006). En los sistemas SCADAs (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) entre ellos los BMS la facilidad de aprendizaje está asociada principalmente a la similitud con el proceso real, mientras la interface asemeje el sistema virtual de la manera más adecuada y correcta con el sistema real, más fácil será para el usuario aprender a utilizarlo. Los objetivos principales de una buena



interface según Valencia Aguilar (2007) son:

- Disminuir la tasa de errores de los operarios gracias a unas presentaciones claras e intuitivas de las fases de control. (optimizar la efectividad del usuario)-incrementar al máximo la productividad.
- Mejorar la calidad y reducir los costos operacionales, de desarrollo y de mantenimiento.
- Reducir los tiempos de aprendizaje del proceso en los nuevos operadores.
- Reducir los costos de rediseño al estandarizar procedimientos.

Las interfaces SCADAs ponen énfasis en la utilización de colores en alto contraste, baja resolución, íconos excesivamente grandes, delimitaciones claras y angulosas, fuentes grandes true type, pantallas poco cargadas. Es claro que su intención es la de ser sencili-



Fig. 9: Interfaz final del operador

llas y eficaces sobre todo en ámbitos de hard real time, no obstante pantallas con estas características suelen resultar visualmente chocantes, agresivas y poco amigables, véase como ejemplo pantallas antiguas del estilo de Windows 95 en comparación a modernos sistemas operativos como Windows 7, Android, etc. Con colores suaves, íconos pequeños y bordes suaves.

Estas últimas resultan mucho más agradables a la vista. Una interfaz que combina y respeta ambos principios fue diseñada para el operador. Un ejemplo de la interfaz final puede verse en la figura 9, Obsérvese la similitud de la interfaz con el proceso de trabajo y la abundancia de colores suaves.

Indicadores

Los indicadores permiten interpretar la información de utilidad para la gestión de energía y las tareas de mantenimiento. Los indicadores de interés son presentados a continuación:

- i. Proporción de Energía consumida por el sistema con respecto al consumo total (PEI)

Unidad de Medida: %.

Métrica:

$$\frac{\text{Consumo de Energía por el Sistema de Iluminación (Kwh)}}{\text{Consumo Total de Energía (Kwh)}}$$

Interpretación Ver Tabla 1:

Variable	Mínimo	Máximo	Resultado
PEI	0%	4%	Excelente
PEI	4%	10%	Bueno
PEI	10%	19%	Normal
PEI	19%	100%	Malo

Tabla 1: indicador de Energía Consumida.

- i. Energía consumida por la iluminación por cada puesto de trabajo (EPP) propuesto por la International Energy Agency, (2014).

Unidad de Medida: (Kwh) (h)/ (Puesto de trabajo)

Métrica:

$$\frac{\text{Consumo de Energía por el Sistema de Iluminación (Kwh)}}{\text{Cantidad de puestos de trabajo (U)}}$$



Interpretación: Para interpretar este indicador hay que comparar los resultados entre un sistema tradicional y un sistema automatizado. También se puede desagregar al indicador por piso o por sector.

i. Índice de Eficiencia Energética (IEE) propuesto por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2001).

Unidad de Medida:  $(W) (Lux) / (m^2)$

Métrica:

$$\frac{\text{Potencia Instalada } (W) * 100 (LUX)}{\text{Superficie } (m^2)}$$

Interpretación Ver Tabla 2:

Variable	Valor	Resultado
IEE	2,0	Óptimo
IEE	3,5	Medio
IEE	4,5	Máximo

Tabla 2: Índice de Eficiencia Energética.

iv. Proporción de Energía ahorrada con el sistema de control automático.

Unidad de Medida: %

Métrica:

$$\frac{\text{Potencia Medida } (Kw)}{\text{Potencia Instalada } (Kw)}$$

Interpretación: Cuando mayor es este porcentaje mejor es el resultado del indicador.

i. Volumen de lámparas que se cambian por tipo por mes.

Unidad de Medida:  $(Unidades) / (Tipo \text{ de Lámpara}) (Mes)$

Métrica:

$$\frac{\text{Lámparas rotas } (U)}{\text{Tipo de Lámpara } (Tipo) * Mes (Mes)}$$

Interpretación: Este indicador debe ser comparado con los meses previos y permitir encontrar comportamientos anómalos.

## RESULTADOS

Se ha construido un Sistema de Gestión de Edificios desde su etapa de investigación pasando por la selección de productos, las estrategias, hasta la construcción del software BMS. El indicador (PEI) brinda a los usuarios en forma sencilla y tiempo real la cantidad de energía que se está ahorrando al utilizar el sistema de automatización. La aceptación de la interfaz de usuario a pesar de tener un alto grado de subjetividad recibió positivas críticas por parte de los usuarios que tomaron contacto con ella en la etapa de pruebas. Se implementó una arquitectura de red con mecanismos de seguridad.

## CONCLUSIONES

En el artículo se presenta el paso a paso de la construcción de un Software de Gestión de Edificios con el objetivo de implementarse en un edificio real y reducir su consumo energético en comparación a uno tradicional, se espera además obtener un alto impacto en la consciencia ambiental.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece particularmente a la Fundación Nuevo Banco de Santa Fe por el aporte al proyecto de innovación tecnológica. Y a Silvina Soledad Rodriguez.

## REFERENCIAS

Zidek, J., Besina, J., Bilik, P. (2011). *Testing Laboratory for Verification of Energy Saving using Light Control. Proceeding of the international Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*, (págs. 1-5). Lisboa: IEEE.

Wang, S. (2010). *Intelligent Buildings and Building Automation*. New York, USA: Taylor & Francis e-Library.

Vigil, A. (2015). *Implementación de Mecanismos de Seguridad en las Comunicaciones de un Sistema de Gestión de Edificios Dedicado a Tareas de Oficina*. JIT 2015. UTN. Venado Tuerto. Argentina.

Vigil, A. (2014). *Diseño de Estrategias de Control de Iluminación en una Planta Tipo de un Edificio de Oficinas Utilizando el Estándar Internacional KNX*.

JIT 2014. Rosario.

Rodríguez Penin, A. (2007). *SISTEMAS SCADA*. Barcelona: Marcombo.

Valencia Aguilar, S. (2012). *Guía Metodológica Para Diseño de Interfaces de usuario para Control y Supervisión de Procesos Industriales*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

International Energy Agency, (2014). *Energy Efficiency Indicators: Fundamental on Statics*. París, Francia: OECD/IEA.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2001). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación*. Madrid, España: IDAE.